

# Obteniendo Imágenes de sistemas CORPS

Alfonso Gómez y Carlos del Río

[carlos@unavarra.es](mailto:carlos@unavarra.es)

Grupo de Antenas. Universidad Pública de Navarra, Campus Arrosadía s/n, 31006 Pamplona, España.

**Abstract-** From the previous research inside the Antenna Group of the Public University of Navarra regarding the working principles of the human eye, one of the conclusions was that the reconstructed image in the surface of the retina is defocused, being this fact the only explanation that properly justifies the visual acuity (or angular resolution) that the human eye has.

The defocusing procedure is supported under the assumption of coherent coupling between the different cones (or photoreceptors), enhancing the signal/noise ratio but, in principle, creating a diffusion in the information (image) received by the cones. Luckily, because that coupling is coherent, there is no destruction of the information, so the process is reversible.

In this paper we will try to demonstrate the possibilities of recovering an image from the one we could have over the retina, or at the output of any CORPS system, as the neural networks of the human eye could be doing.

## I. INTRODUCCIÓN

En el ojo humano cada fotón que incide sobre la retina, provoca una excitación nerviosa en un grupo de conos debido al acoplamiento que se produce entre estos, asegurando así que cada fotón sea recibido correctamente por el ojo, pero esto a su vez provoca imágenes difusas [1]. Un proceso análogo sucede en un sistema del tipo CORPS. Los rayos incidentes se ven ensanchados al atravesar la estructura CORPS, asegurando su detección por el array detector, pero quitando, al menos de una forma aparente, resolución al sistema de detección.

Ahora bien, si nos remitimos al modelo del ojo humano,

el hecho del acoplo entre conos no produce pérdida de resolución, sino todo lo contrario. El ojo posee una doble capa neuronal que interpreta los impulsos provenientes de la detección de fotones por los conos. La detección de cada fotón, implica la excitación de un grupo de conos, y por tanto un área de impulso. Estas áreas de excitación se superponen, y crearían una imagen borrosa en el cerebro, pero la doble capa neuronal, gracias a la linealidad del proceso de acoplo, es capaz de interpretar la posición de cada máximo, es decir el punto justo de impacto de cada haz o fotón. La capacidad de localización del punto de impacto va mas allá de un determinado cono, ya que gracias a este mecanismo, el ojo es capaz de localizar impactos en un punto entre un grupo de conos, recuperando no solo la nitidez perdida por el acoplo entre conos, sino consiguiendo una resolución mayor que un píxel por cono gracias a la labor de esta doble capa neuronal.

Basándonos en este doble mecanismo biológico de distorsión y posterior recuperación, hemos desarrollado un método de procesamiento digital de imagen, emulando el comportamiento de la doble capa neuronal del ojo humano para completar un sistema de recepción basado en CORPS (que a su vez se encargan de emular el mecanismo de acoplo de los conos en la retina) (Fig. 1).

## II. CONSIDERACIONES GENERALES

El procesamiento digital ha sido diseñado para ceñirse los requerimientos tan concretos de esta aplicación y relacionada estrechamente con el procesamiento que se realiza en la doble capa de neuronal.

### A. -Procesado en tiempo real

En primer lugar, el procesamiento debe ser en tiempo real, ya

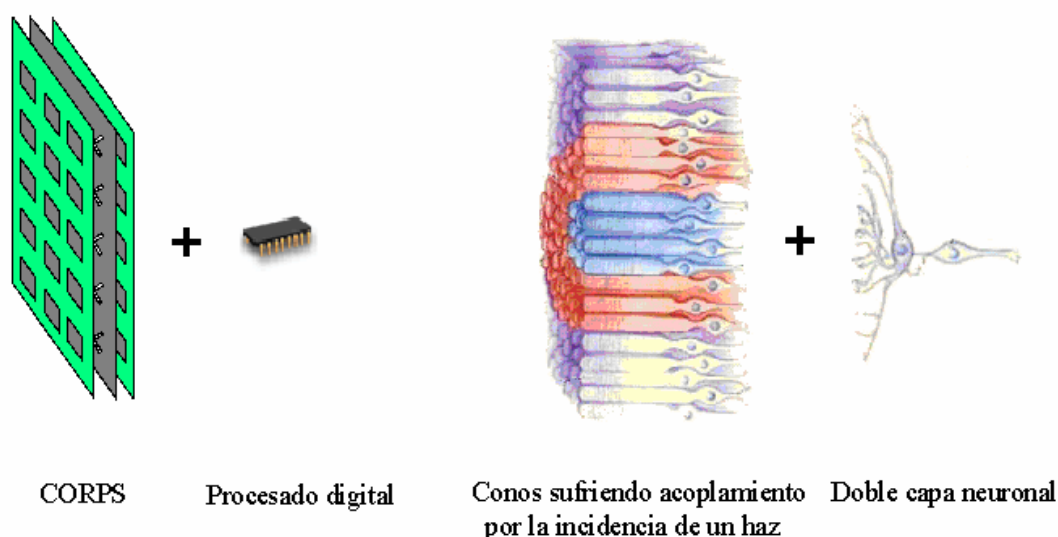


Fig. 1.- Analogía entre procesos de detección de estructuras CORPS (izquierda) y del ojo humano (derecha)

que la recepción no puede interrumpirse en ningún momento. La velocidad de recepción no puede adaptarse al procesado, sino viceversa para no perder la información detectada durante el tiempo que cuesta procesar la adquisición anterior. Esto elimina varias posibilidades en cuanto al método de procesado a seguir. Para evitar complejidad de hardware trabajaremos en el dominio espacial, y con máscaras pequeñas con el fin de obtener un desemborronado rápido. El paso al dominio espectral y viceversa para realizar la convolución resultaría contraproducente tanto por el hardware necesario como computacionalmente [2]. Además no será posible estudiar la imagen para decidir el procesado, como veremos en el siguiente punto, esto deberá hacerse previamente.

#### B. – Aprendizaje inicial

Al igual que con el acoplo del ojo humano, el efecto de las CORPS es constante en toda la superficie de detención y durante todo el tiempo. En el caso del ojo humano, sabemos que al nacer no somos capaces de ver con claridad, ya que tenemos que aprender a procesar las imágenes para verlas con nitidez. Este aprendizaje se realiza una única vez en la vida de toda persona, ya que el emborronamiento provocado por el acoplo entre conos es constante. Por tanto, aprovechando esta característica común de las CORPS y el ojo, se debería hacer un estudio de las características del ensanchamiento que producen, para caracterizarlo, y encontrar un método de invertirlo. Esto nos permite realizar un estudio exhaustivo, ya que el procesado se estudia en el laboratorio y luego se integra en el hardware. Por tanto el hardware no tendrá que estudiar ninguna característica, solamente tendrá que realizar una convolución, así que una vez encontrado un método que presente un compromiso óptimo entre tamaño de la máscara inversa y capacidad de recuperación de imagen, bastaría con aplicarlo a cada imagen de forma mecánica y no tendríamos que analizar el deterioro que ha sufrido cada una, simplemente procesarlas, aumentando la rapidez del sistema.

#### C. – Forma de la difusión controlada

El proceso de ensanchado de haz, ya sea en una estructura CORPS o en la retina del ojo humano, sigue una función con cierta simetría axial con respecto a punto de impacto, que disminuye de valor conforme aumenta la distancia al eje central. Este tipo de comportamientos son muy similares a filtros paso bajo en 2-D, que generan un efecto muy parecido, de difuminación, al eliminar las componentes de altas frecuencias. En principio, este proceso elimina definición de la imagen recibida justo después de los detectores, se podría decir que emborrona la imagen [3]. Por lo tanto el procesado debe estar pensado para invertir este tipo de procesos paso bajo.

### III. PROCEDIMIENTO PROPUESTO

Aplicando todas estas premisas hemos desarrollado el siguiente método. Primero necesitamos un estudio del comportamiento de la estructura CORPS. El ensanchamiento o difuminación que los haces sufren al atravesar la estructura, como filtro espacial en 2-D estaría completamente caracterizado por una máscara espacial (una matriz) que representase cual es el porcentaje de la potencia del rayo

incidente que se reparte a los demás puntos del espacio. Esta máscara vendrá representado por una matriz que llamaremos  $h(x,y)$ . Teóricamente esta máscara seguirá una distribución gaussiana con el máximo en el centro (punto de incidencia del haz) y con una desviación típica determinada por las características de la estructura CORPS. Prácticamente, se puede medir en un ensayo de forma sencilla por medio de un array de detectores.

Una vez caracterizada  $h(x,y)$ , le realizaremos un submuestreo con el fin de conseguir un zoom en el dominio transformado. Tomaremos una de cada  $N$  muestras (en la dimensión  $x$  e  $y$ ) para conseguir un zoom  $N \times 1$  en el dominio transformado. Debido a que  $h(x,y)$  es idealmente infinita, la limitaremos al tamaño que deseemos que tenga nuestra máscara inversa  $h_{inv}(u,v)$ , teniendo en cuenta que un tamaño demasiado pequeño implicaría eliminar valores significativos de  $h(x,y)$  y por tanto un inventariado que provocaría lóbulos laterales tipo *sinc* en su representación en el dominio transformado [2].

A partir de este  $h(x,y)$  modificado (limitado en tamaño y submuestreado) que ahora denominaremos  $h'(x,y)$ , pasaremos al dominio transformado, obteniendo  $H'(u,v)$ . El motivo de pasar al dominio transformado, es que resulta mucho más sencilla la inversión del proceso, ya que basta con invertir todos y cada uno de los elementos de la matriz.

Cuando existan elementos de la matriz cercanos a cero, deberemos limitar su inversa a un valor máximo predeterminado, ya que estos valores infinitos generarían aberraciones y amplificación del ruido. En este momento dispondríamos de  $H'_{inv}(u,v)$ , la denominada pseudo-inversa de  $H'(u,v)$  [4]. El efecto de limitar los valores máximos, hace que la pseudo-inversa no sea una inversa perfecta, y para mejorar este aspecto, aplicamos aquí un algoritmo iterativo que modifica  $H'_{inv}(u,v)$  para que su producto con  $H'(u,v)$  converja hacia la unidad, es decir, hacia una inversa perfecta.

Una vez obtenida, no necesitaremos más que operar en el dominio frecuencial, por tanto podremos deshacer el zoom por medio de un submuestreo (tomando 1 de cada  $N$  muestras de nuevo), esta vez en el dominio transformado. Finalmente para obtener  $h_{inv}(x,y)$  solo tendremos que volver al dominio espacial por medio de una DFT inversa.

Usando  $h_{inv}(u,v)$ , la máscara inversa, por una simple y rápida convolución espacial con las muestras extraídas de los detectores obtendremos de nuevo imágenes nítidas, con el consiguiente aumento de la resolución del sistema.

### IV. RESULTADOS

Veamos algunos resultados obtenidos usando esta técnica. Un sistema CORPS de 30 capas tiene teóricamente una respuesta  $h(x,y)$  similar a un perfil gaussiano de desviación 3. Recuperaremos una imagen que ha sufrido un emborronamiento con una máscara de este tipo. Le aplicaremos una máscara inversa  $h_{inv}(x,y)$  de tamaño 31. Para obtener  $h_{inv}(x,y)$ , hemos usado un zoom frecuencial  $3 \times 1$ , 2 iteraciones en el proceso de la pseudo-inversa y un límite de amplificación de 100 (Fig. 2).

Como se puede observar, el aumento de calidad es importante, recuperándose detalles que aparentemente se habían perdido con el emborronado. El tiempo total necesario en Matlab ha sido de 4.2 segundos para realizar la

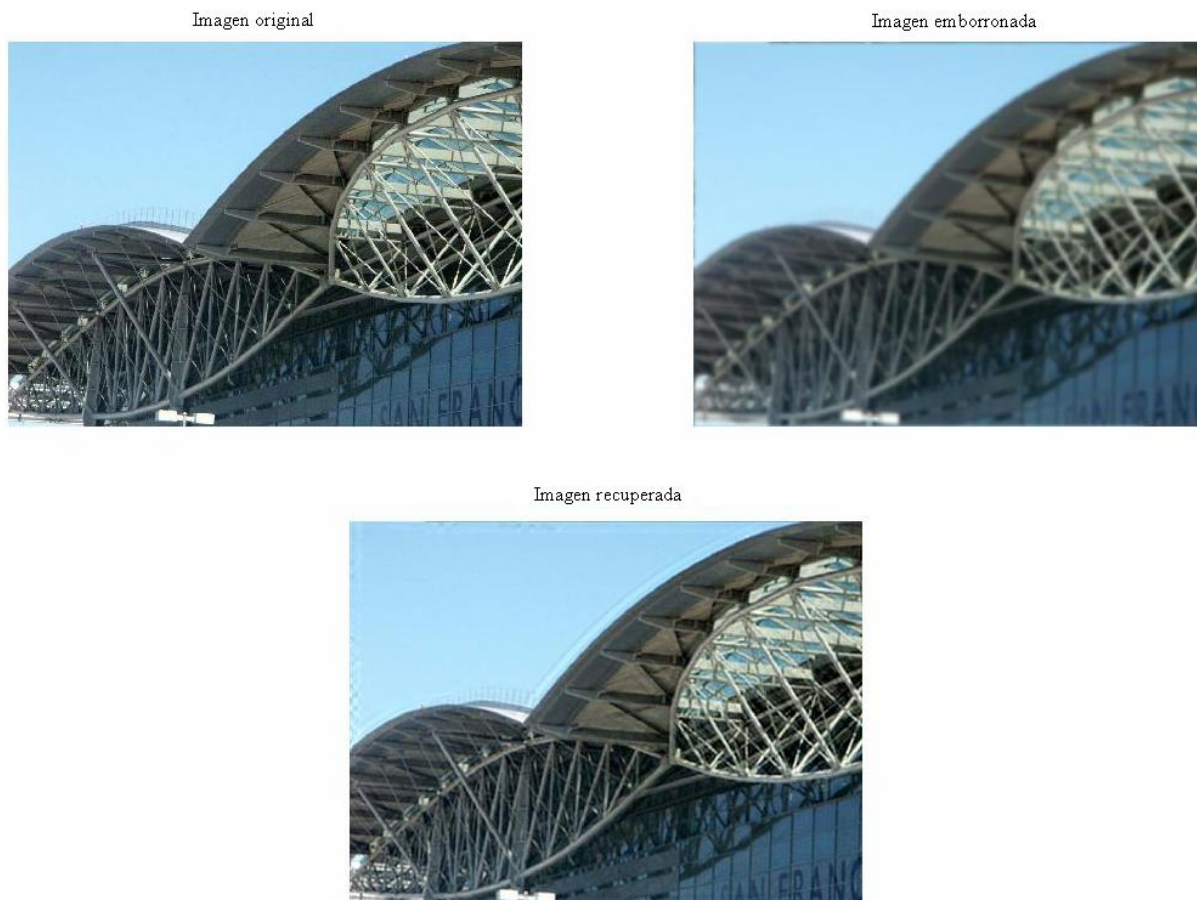


Fig. 2.- Comparación de una imagen (arriba izquierda) tras sufrir un proceso de emborronado con una función Gaussiana (arriba derecha) con la imagen finalmente recuperada (abajo)

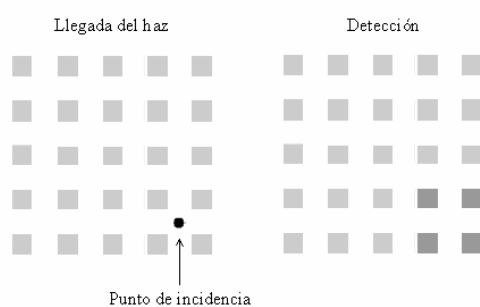
convolución de  $h_{inv}(x,y)$  de dimensiones  $31 \times 31$  con la imagen a recuperar  $800 \times 600$  píxeles ( $\times 3$  debido a cada una de las capas RGB).

El coste en de este mismo procesado en datos provenientes de una agrupación compleja (que detecte amplitud y fase) de  $50 \times 50$  detectores ( $\times 2$  debido a la parte

real y compleja) sería de 0.016s ejecutando el procesado en Matlab, que obviamente es mucho más lento que un procesado por hardware dedicado con la máscara  $h_{inv}(x,y)$  en memoria.

Incluso se podría ir más allá y no solo recuperar los detalles perdidos, sino tal y como el ojo humano hace,

a) Efecto de un haz incidente entre detectores en un sistema tradicional



b) Efecto de un haz incidente entre detectores en un sistema basado en el funcionamiento del ojo

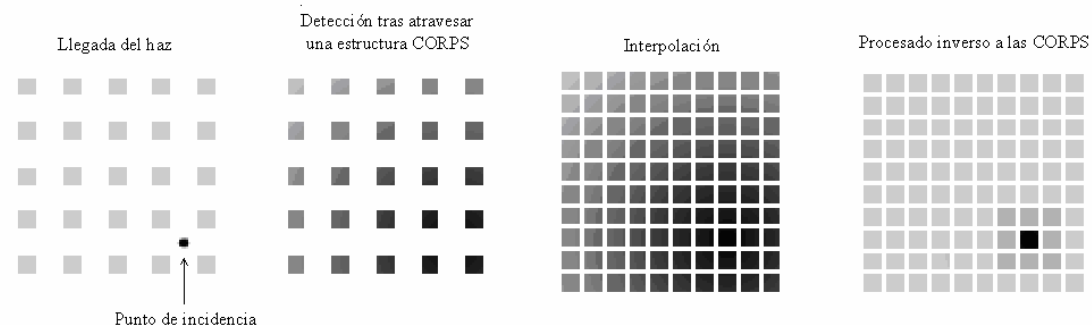


Fig. 3.- Detección de un fotón incidiendo en un punto en el que no hay localizado un detector (a), comparado con el proceso que incorpora una interpolación en su proceso de detección (b).

aumentar la resolución por encima del número de receptores, obteniendo detalles que no captaríamos en un sistema normal (Fig. 3).

En esta imagen podemos ver como en un sistema tradicional, si un haz incide entre dos detectores algo de potencia será detectada, pero no tendremos resolución suficiente como para mostrar este detalle. Sin embargo en un sistema con CORPS, incorporando al procesado digital una simple interpolación lineal, al llegar un haz entre detectores, se consigue detectar el punto exacto de llegada.

En la figura 3 tenemos representado el proceso completo, gracias al comportamiento de acoplos coherentes de las CORPS, se produce un emborronado de la potencia recibida en cada uno de los detectores, es lo que hemos denominado emborronamiento. Interpolando esta distribución de potencia emborronada y aplicando un máscara inversa  $h_{inv}(u,v)$ , localizamos el punto de impacto, en un lugar donde en teoría no seríamos capaces de detectar nada.

## V. CONCLUSIONES

Por medio de un método pseudo-inverso iterativo con zoom frecuencial, se pueden obtener máscaras inversas de tamaño reducido que son capaces de invertir rápida y fielmente procesos de ensanchado o emborronado propios de sistemas como el ojo humano o sistemas CORPS.

Tras un estudio de una estructura CORPS, dada la sencillez y rapidez del consiguiente proceso de desemborronado, resultaría sencilla su integración en un chip de procesado digital por convolución, el cual, unido a la estructura tipo CORPS, formaría un sistema completo basado en el funcionamiento del ojo, adquiriendo sus características en cuanto a resolución angular y relación señal a ruido, rompiendo las limitaciones impuestas por los sistemas tradicionales.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología a través de un proyecto TIC-2003-09317-C03-01.

## REFERENCIAS

- [1] Kaufman, P.L. and Alm, A., "Adler's Physiology of the eye", Edited by P. Kaufman, Mosby, tenth edition, ISBN 0-323-01136-5.
- [2] A.V. Oppenheim, R.W. Schaffer and J.R. Buck, "Discrete-Time Signal Processing", 2<sup>nd</sup> ed., Prentice Hall, 2000. ISBN 0-13-754920-2
- [3] N. Efford, "Digital Image Processing: A Practical Introduction using Java", Addison-Wesley, 2000. ISBN: 0-201-59623-7
- [4] K. R. Castleman, "Digital Image Processing", Prentice-Hall, 1996
- [5] A. K. Jain, Fundamentals of Digital Image Processing, Prentice-Hall, 1989